



(43) 国際公開日  
2005 年 9 月 29 日 (29.09.2005)

# PCT

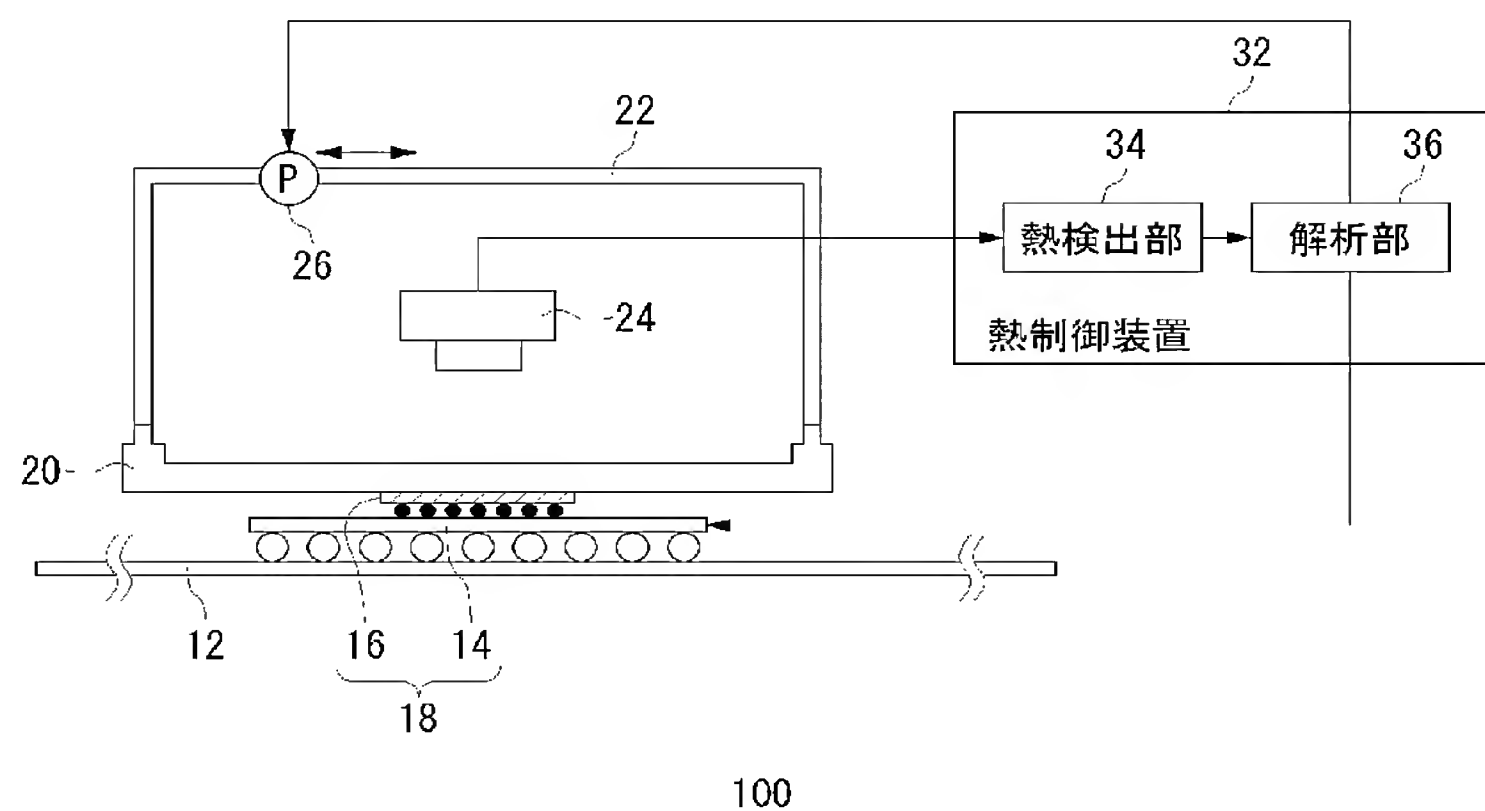
(10) 国際公開番号  
**WO 2005/091362 A1**

- |  |   |
|--|---|
| (51) 国際特許分類 <sup>7)</sup> :<br>31/26, G06F 1/04, H01L 23/473, 23/58  | H01L 23/34, G01R 1070062 東京都港区南青山二丁目 6 番 2 1 号 Tokyo (JP).  |
| (21) 国際出願番号:   | PCT/JP2005/004840   |
| (22) 国際出願日:  | 2005 年 3 月 17 日 (17.03.2005)  |
| (25) 国際出願の言語:  | 日本語   |
| (26) 国際公開の言語:  | 日本語   |
| (30) 優先権データ:<br>特願2004-081739 2004 年 3 月 19 日 (19.03.2004) JP<br>特願2004-180281 2004 年 6 月 17 日 (17.06.2004) JP | (72) 発明者; および<br>(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 矢澤 和明 (YAZAWA, Kazuaki) [JP/JP]; 〒1070062 東京都港区南青山二丁目 6 番 2 1 号 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント内 Tokyo (JP). 田村 哲司 (TAMURA, Tetsuji) [JP/JP]; 〒1070062 東京都港区南青山二丁目 6 番 2 1 号 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント内 Tokyo (JP). |
| (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント (SONY COMPUTER ENTERTAINMENT INC.) [JP/JP]; 〒              | (74) 代理人: 森下 賢樹 (MORISHITA, Sakaki); 〒1500021 東京都渋谷区恵比寿西 2-1 1-1 2 Tokyo (JP).<br>(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,   |

[ 続葉有 ]

- (54) Title:** METHOD, DEVICE AND SYSTEM FOR CONTROLLING HEATING OF CIRCUITS

- (54) 発明の名称: 回路の発熱制御方法、装置およびシステム



32 THERMAL CONTROLLER  
34 HEAT DETECTOR  
36 ANALYZER

- (57) Abstract:** A hollow planar glass plate (20) is bonded to the back of a processor die (16), and a refrigerant is allowed to flow therein. An infrared camera (24) is used to photograph the die (16) and a heat detector (34) obtains a temperature distribution. When any place on the die (16) becomes abnormally hot, an analyzer (36) gives an order either to increase the driving power of a pump (26) or to cause a processor (18) to lower the operating frequency.

- (57) 要約: プロセッサのダイ 16 裏面に平面上の中空ガラス板 20 を接合し、中に冷媒を流す。赤外線カメラ 24 でダイ 16 を撮像し、熱検出部 34 が温度分布を取得する。解析部 36 はダイ 16 のいずれかの個所が高温異常になったとき、ポンプ 26 の駆動力を高

〔続葉有〕

WO 2005/091362 A1



BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,

BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### 回路の発熱制御方法、装置およびシステム

#### 技術分野

- [0001] この発明は発熱制御技術に関し、特に半導体集積回路の発熱を制御する方法、装置およびシステムに関する。

#### 背景技術

- [0002] LSI設計において製造プロセスの微細化と素子の高集積化が一段と進み、チップの性能限界として発熱量を考慮することがLSIの設計上非常に重要になった。チップが高温になると、動作不良を起こしたり、長期信頼性が低下するため、様々な発熱対策がとられている。たとえば、チップの上部にヒートシンクを設けて、チップから発生する熱を逃がす方法がとられる。

#### 発明の開示

#### 発明が解決しようとする課題

- [0003] 昨今のLSI、とくに高性能のマイクロプロセッサでは、ヒートシンクでもとりきれない発熱が生じうるため、放熱効率の改善と発熱自体の抑制は永続的な課題である。LSIを搭載する製品を開発する際、セットレベルで放熱効果または発熱抑制効果を保証する必要があり、その前提として、製品開発の途上でそれらの効果を正しく評価する必要が生じる。
- [0004] 本発明はこうした課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、半導体集積回路の効率的な熱制御技術を提供することにある。本発明の別の目的は、熱制御の効果を正しく評価する技術を提供することにある。

#### 課題を解決するための手段

- [0005] 本発明は回路の発熱制御技術であり、二次元的に密な解像度で半導体集積回路の発熱状態を取得し、取得された発熱状態に応じて半導体集積回路の発熱状態を変化させるための制御を行うものである。

#### 発明の効果

- [0006] 本発明によれば、半導体集積回路の発熱を効率的に制御でき、または、熱制御の

効果を正しく評価できる。

### 図面の簡単な説明

- [0007] [図1]実施の形態1に係る熱制御システムの全体構成を示す図である。  
[図2]図1の一部を上から見た状態を示す図である。  
[図3]実施の形態2に係る熱制御システムの一部を上から見た状態を示す図である。  
[図4]実施の形態3に係る熱制御システムの全体構成を示す図である。  
[図5]実施の形態4に係る熱制御システムの全体構成を示す図である。  
[図6]図5のプロセッサの内部構成を示す図である。  
[図7]図7(a)、(b)は実施の形態5に係る熱制御システムの一部構成を示す図である。  
。  
[図8]図7の変形例の構造を示す図である。

### 符号の説明

- [0008] 16 ダイ、18 プロセッサ、20 中空ガラス板、24 赤外線カメラ、26 ポンプ、32 熱制御装置、34 熱検出部、36 解析部、42 冷却制御部、44 動作制御部、58 開口、62 ヒートスプレッダ、64 噴流冷却装置、66 ノズル、70 流路。

### 発明を実施するための最良の形態

- [0009] 実施の形態の概要

マイクロプロセッサ(以下単にプロセッサという)のダイ上の温度を測定する方法として、サーマルダイオードのPN接合の順方向電圧やリングオシレータの周波数の温度特性を利用する方法が考えられる。しかし、いずれも実装面積その他の事情で、実デバイスに埋め込むことは容易ではない。また、正確な温度分布測定のためには、こうした温度センサを多数埋め込む必要があり、設計上のデメリットが大きい。

- [0010] 実施の形態はこうした観点から、まず二次元的に密な解像度で半導体集積回路の発熱状態を取得し、取得された発熱状態に応じて半導体集積回路の発熱状態を変化させるための制御を行う。ここで「発熱状態を変化させる」とは、まず放熱状態を変化させ、結果として発熱状態が変化する場合も含む。二次元的に密な、赤外線センサのような撮像型のセンサを利用すると、いちどに、解像度に応じたポイント数の

温度測定が実現する。このため上記の問題が解決される。

- [0011] なお、撮像型のセンサの例として以下赤外線センサを用いるが、実施の形態では赤外線センサとレンズ等の光学系機構を組み合わせた赤外線カメラを用いる。このカメラは、赤外線サーモグラフィ技術の分野で知られるものであり、物体の表面温度または温度分布を計測し画像化する装置である。実施の形態では、撮像という手法で温度を検出するため、対象物である半導体回路装置から離れた位置から非接触で温度測定が可能であり、半導体回路装置とセットの配置上の設計自由度を高めることができる。また、面の温度分布として捉える手法であるため、面上の点どうしの相対的な測定が可能となり、簡単な構成で高温個所を特定することが容易である。実施の形態は、より具体的には以下の技術に関する。
- [0012] 1. 撮像型のセンサを設ける。このセンサで半導体集積回路を撮像する。フリップチップパッケージの半導体集積回路は、ダイ裏面が露出しているため撮像に好都合である。ただし、通常のプラスチック等のパッケージに封入された半導体集積回路であっても問題はない。熱検出部は、撮像で得られた画像(これを「検査画像」とよぶ)から半導体集積回路の発熱状態を取得する。冷却制御部は、取得された発熱状態に応じて前記半導体集積回路を冷却する手段、たとえばファンの回転数や冷媒の流通速度を制御する(主に実施の形態4)。
- [0013] 2. 熱検出部は、検査画像から半導体集積回路、とくにその露出面の温度分布を取得し、半導体集積回路のいずれかの個所において温度が所定のしきい値を超えたとき、冷却制御部は、冷却手段の冷却能力を高める(主に実施の形態1、2、3、4)。
- [0014] 3. 冷却制御部の代わりに、またはそれに加えて、取得された発熱状態に応じて半導体集積回路の動作状態を制御する動作制御部を設ける。半導体集積回路のいずれかの個所において温度が所定のしきい値を超えたとき、動作制御部は、温度がしきい値を超えた個所(これを「高温個所」という)における単位時間当たりの処理の負荷を軽減する。そのために、半導体集積回路の動作周波数を落としてもよい(主に実施の形態4)。
- [0015] 4. 半導体集積回路、とくにその露出面に密着して固定される透明な冷却機構を設ける。ここでの「透明」とは、温度測定を妨げないという意味での透明である。すなわ



ち、赤外線センサによる温度測定を行う場合には、発熱体から放出される赤外線を検知するため、赤外領域において透明であることが重要であって、見た目に透明である必要はない。また、赤外領域においても完全に透明である必要はなく、補正によって発熱体である半導体集積回路の温度が検出できる透過率を有していればよい。冷却機構は、中空な部分を有し、液体や気体などの流体が流通しうる流路が設けられている。中空な部分を有する冷却機構としては、たとえば平面状の配管や、ガラス等の固体内部に冷媒の流路が穿設されているようなものが含まれる。ポンプなどの駆動機構で、冷却機構の内部に液体や気体の冷媒を流通せしめる。撮像型のセンサで、冷却機構を介して半導体集積回路を撮像する。熱検出部で、センサによって撮像された検査画像から半導体集積回路の発熱状態を取得する(主に実施の形態1、2、3、4)。しかる後、解析部で、取得された発熱状態を解析する。なお、「透明」はセンサの検出機能を損なわない意味で透明とし、見た目に透明である必要はない。実際には、センサによる検知は、冷却機構の色、放射率、測定角度等のさまざまなファクターによって影響を受けるため、それらのファクターは最終的に実験で定めればよい(主に実施の形態1、2、3)。

[0016] 5. 4において、駆動機構は適宜冷媒の流通方向を変化させてもよい。これは発熱の評価に役立つ。解析部は冷媒の流通方向が変化する前後で検出された発熱状態を統合して解析してもよい。たとえば、方向を逆転させ、その前後で得られた発熱状態の平均をとって、これを実際の発熱状態ないし温度分布とみなしてもよい。以下、「発熱状態」は「温度分布」で把握できるため、特に必要がないかぎり、両者を峻別しない(主に実施の形態1)。

[0017] 6. 4において、解析部は冷媒の流通方向による温度傾斜を加味して発熱状態を解析してもよい。冷媒は駆動機構から出たあと、上流の方が低温である。これが半導体集積回路、とくにその露出面から熱を奪って下流に向かうにつれ、温度が高くなる。そこで上流の温度をマイナスし、下流の温度をプラスする傾斜補正をかけて得られた温度分布を実際の温度分布とみなしてもよい(主に実施の形態1)。

[0018] 7. 4において、透明な冷却機構は中空な部分を有さずともよい。すなわち冷却機構としては、例えば、透明な平面上のヒートスプレッダなどであってもよい。この場合、

ポンプなどに駆動機構に代えて、空冷ファンや、ペルチェ素子、噴流冷却装置などによって冷却機構を構成すればよい(主に実施の形態2)。

- [0019] 8. 以上の装置はセンサを利用したが、センサの有無とは別に、半導体集積回路の放熱効果を高める技術は有用である。そのため、前述の冷却機構と駆動機構を設け、冷却機構は半導体集積回路、とくにその露出面に合わせた開口を有し、少なくともその開口の縁部において、半導体集積回路側の対応個所と密に固着されてもよい。この場合、開口部分で冷媒が直接半導体集積回路に触れるため、熱を奪う効果が高い(主に実施の形態5)。

- [0020] 実施の形態1.

本実施の形態は、開発段階において最終製品であるセット(以下単に「セット」という)において半導体集積回路の発熱がどのようになるかを予め評価する装置に関する。以下、半導体集積回路は発熱量の大きなプロセッサとする。セットにおいて、プロセッサには熱を拡散するためのヒートスプレッダや、さらにその上にヒートシンクが取り付けられる。そのような状態だと、プロセッサの表面温度を計測することができない。そこで、本装置では、ヒートシンク等を外して透明な放熱手段を設け、それを通してプロセッサを赤外線カメラで撮像し、温度分布を取得する。放熱手段はヒートシンク等の作用を模するものであり、セットにおける実使用状態、すなわちヒートシンク等がついた状態における発熱を予測するものである。ヒートシンク等を精度よく模するために、予め既知の熱伝導シミュレータ等を利用して冷却機構の形状と材質、冷媒の種類と流速等を設定することができる。ただし、シミュレーションには限界もあり、実験と組み合わせられるべきであるから、本実施の形態の装置はシミュレーションと相互補完の関係にある。

- [0021] この装置による熱評価の結果は、プロセッサの仕様に反映される。たとえば、プロセッサの最高負荷がどの程度の時間つづくと高温個所の温度が動作保証範囲を超えるかなど、本装置によって予め評価できる。

- [0022] 図1は、本実施の形態に係る熱制御システム100の全体構成を示す。図2は図1の中空ガラス板20付近を上から見たものである。プロセッサ18はプリント基板12上に実装されている。プロセッサ18はフリップチップタイプで、ダイ16とBGA(ボール・グリ

ッド・アレイ)タイプの外部端子を有するパッケージ基体14を備える。

- [0023] ダイ16の裏面は露出しており、その面に平板状の中空ガラス板20が陽極接合等で接着されている。この接合にはサーマルグリース等のインタフェイス剤が不要であり、熱伝導率が高い。
- [0024] 中空ガラス板20は両端部で細流管22に接続され、細流管22の途中にポンプ26が設けられる。ポンプ26の駆動により、細流管22と中空ガラス板20に内装された冷媒が循環し、ダイ16の裏面を冷却する。冷媒は液体、気体を問わないが、赤外線カメラ24による温度検知に影響しない意味において透明なものを選ぶ。図2の矢印a、bはそれぞれ冷媒の進行方向を示し、ポンプ26の駆動により方向の反転が可能である。中空ガラス板20はダイ16上を冷媒が一様に流れるよう、プロセッサ18よりも広めの平面とする。このような冷却機構を設けることにより、中空ガラス板20の中空な部分、すなわち冷媒はプロセッサ18の主要部分を覆うこととなり、ヒートシンクに近い放熱状態を模することができる。この主要部分とは、プロセッサ18の半分以上、大部分、あるいは全部や、発熱量の多い部分、中心部分などをいう。
- [0025] 図1の赤外線カメラ24は中空ガラス板20を介してダイ16を撮像する。赤外線カメラ24は例えば100×100程度の空間解像度をもち、したがって、事実上その解像度だけのセンサが密に二次元配列されている効果をもつ。赤外線カメラ24の時間解像度は、例えば毎秒数十枚の撮像が可能な程度とする。
- [0026] 熱制御装置32は熱検出部34と解析部36を有する。熱検出部34は赤外線カメラ24から検査画像を入力し、ダイ16の温度分布を取得して図示しないメモリに画像データとして記録する。解析部36は画像データをメモリから読み出し、必要な処理を行う。解析部36による処理の例は以下のとおりである。
- [0027] 処理1 ダイ16の温度分布から、ダイ16のいずれかの高温個所の温度がしきい値を超えたとき(以下そのような状態を「高温異常」という)、ポンプ26の駆動力を高める。これにより、本装置による熱評価中にプロセッサ18が熱暴走その他の誤動作をしたり、恒久破壊されることを防止する。解析部36は高温異常の発生時刻を画像フレームの時刻から特定および記録してもよい。以下の処理でも、高温異常とその対処を時刻と合わせて記録すれば、開発者の熱評価に有用な情報を提供できる。



- [0028] 処理2 高温異常が発生したとき、プロセッサ18の動作状態を制御する。例えば、割込等を発生させてプロセッサ18の動作周波数を低減する。そのため、評価用のプロセッサ18を走らせるOS(オペレーティングシステム)において、解析部36による割込から動作周波数制御のハンドラが呼び出される構成にしておく。
- [0029] 以上の構成による本装置の動作は以下のとおりである。熱評価に先立ち、ポンプ26の電源がオンされ、冷媒が流通をはじめる。また、赤外線カメラ24の電源がオンされ、発熱状態の監視が開始される。
- [0030] プロセッサ18は例えば解析部36からの指示によって動作を開始し、赤外線カメラ24が撮像する検査画像とプロセッサ18の動作の同期がとられる。プロセッサ18が評価用のプログラムを実行しているとき、高温異常が発生すれば、解析部36からポンプ26またはプロセッサ18が制御され、放熱効果が高められるか、または発熱自体が抑制される。
- [0031] 以上により、プロセッサ18を正常に動作させると同時に、どのようなプログラムを実行したら高温異常が生じるかを解析することができる。また、高温異常を解消するためにどのような対処が有効かも見極めることができる。その結果、プロセッサ18を市場投入する際にセットメーカーへ要請すべき熱対策を定めることができるほか、プロセッサ18自体のアーキテクチャ設計に熱評価の知見を反映することができる。
- [0032] なお、より正確に発熱状態を記録するために、冷媒の流通による温度勾配を考慮することには意味がある。たとえば、図2の矢印aのごとく図中左から右へ冷媒がながれるとき、当然ダイ16の左側のほうが低温、右側のほうが高温となる。その状態で温度分布を記録および評価すると、必ずしも正しくない結果となる。この点を解消するために、解析部36は以下の追加処理を実行してもよい。
- [0033] 1. ポンプ26の駆動を制御し、冷媒の進行方向を適宜反転させる。熱検出部34によって記録された温度分布のうち、反転の前後で得られたふたつのデータを平均化し、これを温度分布として記録する。平均化によって温度勾配をかなり解消することができる。反転は一定期間ごとにすることが望ましいが、高温の冷媒がダイ16付近に滞留しないよう、ある程度期間を長くすることも考慮すべきである。
- [0034] 2. 1の処理をして、平均化された温度分布を求める。つぎに、その温度分布と冷媒

を一方向に流したときの温度分布の差分から、冷媒をその方向にながしたときに現れる温度勾配を計算しておく。以降、冷媒はその方向にだけ流しつつ、取得された温度分布に前記の温度勾配を掛けて正しい温度分布を求める。

[0035] 実施の形態2.

本実施の形態も、実施の形態1同様に開発段階における半導体集積回路の発熱状態の評価を目的とする装置に関する。以下、実施の形態1と共通する部分については、その説明を省略する。本実施の形態に係る熱制御システム100は、図1と同様に構成され、その動作も実施の形態1と同様であるが、中空な部分を有する冷却機構として機能する中空ガラス板20において、実施の形態1とはその構造を異にしている。すなわち実施の形態1では、平面状の中空ガラス板20中に冷媒を流通せしめてプロセッサの冷却を行っており、赤外線カメラ24による撮像は、冷媒を介して行っていた。一方、本実施の形態においては、中空ガラス板20の中空な部分が、観測対象のダイ16と赤外線カメラ24との間に冷媒が介在しないように設けられている。

[0036] 図3は、本実施の形態に使用される中空ガラス板20を上から見た図であり、冷媒の流路70が、赤外線カメラ24によるダイ16の撮像を妨げないように、ダイ16から所定のクリアランスをもって穿設されている。この所定のクリアランスは、熱伝導シミュレータによって、ヒートシンクに近い放熱状態を模することができるように決められる。また、「所定のクリアランスをもって」とは、ダイ16の温度分布測定を行いたい部分の撮像を妨げないように流路70が確保されていることを意味する。従って、例えばダイ16の中心部のみの撮像を行う場合であれば、中空ガラス板20を上からみたときに、流路70は撮像したい中心部を避けていれば良く、ダイ16の一部と重なっていてもよい。この冷媒の流路70は、細流管22に接続されており、ポンプ26の駆動により、その内部に冷媒が循環する。

[0037] このように構成された回路の熱制御システム100においては、測定対象であるプロセッサのダイ16と赤外線カメラ24の間には、冷媒は存在しない。従って冷媒自体は不透明であってもよく、その選択の自由度が高くなる。例えば、その扱いやすさから広く冷媒として使用される水は、赤外領域において完全に透明ではないが、本実施の形態においては、問題なく使用することができる。また、本実施の形態においては

、冷媒が赤外線カメラ24による温度測定に影響を及ぼさないため、冷媒が介在することによる補正が不要となり、精度良くダイ16の温度分布を測定することが可能となる。さらに、測定された温度分布は、純粹にダイ16のものであるから、冷媒の流通方向による温度勾配を補正する必要はない。もともと、冷媒の上流方向の方が下流方向よりも冷却能力は高いため、冷媒の流通方向を都度変化させることは、発熱状態を制御する意味において、有意義である。

[0038] 実施の形態3.

本実施の形態も、実施の形態1、2と同様に、熱制御システムに関する。図4は、本実施の形態に係る熱制御システム100の全体構成を示す図である。同図において、図1同様の構成には同じ符号を与え、適宜説明を略す。図1との違いは、透明な冷却機構として、中空ガラス板20に代えて、シリコン製のヒートスプレッダ62を用いられている点である。シリコンは可視光に対しては透明ではないが、赤外光に対しては透明な材料であり、熱伝導率も比較的高い。従って、赤外線カメラ24によるダイ16上の平面温度分布の測定を妨げずに、効率の良い熱冷却を行うことができる。本実施の形態に係る熱制御システム100は、さらに冷媒を循環させるポンプ26に代えて、噴流冷却装置64を備える。

[0039] 噴流冷却装置64は、冷却ノズル66と総称される複数の冷却ノズル66aー66dを備える。噴流冷却装置64は、局所的な熱電圧効率を大きく取ることができる冷却方法として知られており、冷却ノズルから冷媒を噴射して発熱体に吹き付けることにより冷却する。冷却ノズルから噴射される冷媒は、噴流軸点を中心に広がり、その中心近傍において高い冷却効果が得られる。本実施の形態では、噴流冷却装置64は、ダイ16全体を覆うようにして配置される複数の冷却ノズル66aー66dを備える。冷却ノズルの個数は、ダイ16の面積、あるいはノズル径等によって定まる個々の冷却ノズルの冷却能力により決定される。

[0040] 赤外線カメラ24によりダイ16上の平面温度分布が取得され、解析部36はその撮像画像を解析し、局所的に発熱している高温箇所的位置を特定する。解析部36は、噴流冷却装置64を制御して、複数の冷却ノズル66のうち特定された高温箇所に対応する冷却ノズル66の駆動能力を高める。

また、冷却ノズル66は、アクチュエータによって冷媒の噴射方向が制御可能となってもよい。この場合、解析部36から高温箇所的位置座標に相当するデータが噴流冷却装置64に入力され、冷却ノズル66の噴射方向をアクチュエータによって高温箇所に向けることにより集中的に冷却してもよい。

[0041] このように本実施の形態では、シリコン製のヒートスプレッダ62を用いることにより、スプレッダを介してダイ16を冷却することが可能となる。このダイ16の冷却には、噴流冷却装置64を用いており、赤外線カメラ24によりダイ16上の平面温度分布を取得し、高温箇所を噴流冷却装置64によって集中的に冷却することで、ダイ16上の発熱状態を平準化することができる。

[0042] 本実施の形態では、ダイ16の発熱状態にあわせて、噴流冷却装置64の動作とともに、プロセッサ18を制御し、発熱自体を抑制してもよく、より効果的な温度分布の平準化を行うことができる。

[0043] 本実施の形態におけるヒートスプレッダ62の冷却には、噴流冷却装置64による冷却に代えて、赤外線カメラ24によるダイ16の撮像を妨げないその他の手段を用いてもよい。例えば、ヒートスプレッダの縁部において、ペルチェ素子や、水冷用のパイプと接触せしめることによって冷却してもよく、あるいは空冷ファンなどを用いてもよい。

[0044] さらに、通常のプロセッサは、シリコン基板上に形成されるため、シリコン製のヒートスプレッダとは同一材料である。従って、プロセッサが形成されるシリコン基板を、ヒートスプレッダとして必要とされる面積、厚み等を有するように延伸して設計し、延伸された部分をヒートスプレッダとして利用することができる。言い換えれば、ヒートスプレッダとして必要なシリコン基板の面積、厚み等の特性を具備するシリコン基板を用意し、その上にゲート等のロジックを作り上げても良い。この場合、プロセッサとヒートスプレッダとの間の接着面におけるヒートロスもなくなり、より効率的な冷却を行うことができる。またこの場合、赤外線カメラ24によって直接ダイ16の温度分布を測定することになるので、補正の容易性など測定精度の観点からも好適である。

[0045] 実施の形態4.

実施の形態1から3は開発段階の評価を目的とする装置であった。本実施の形態は、実際にセットに搭載され、実使用状態のもとで熱制御を行う装置に関する。本実



施の形態でも冷媒を流通させる冷却機構を採用するため、凹凸をもつヒートシンクなどの比較的大きな構造物を半導体回路装置に取り付ける必要がなく、セットの機構、構造設計上、柔軟性が増す。

[0046] 図5は本実施の形態に係る熱制御システム100の全体構成を示す。同図において図1同様の構成には同じ符号を与え、適宜説明を略す。図1との違いは、赤外線カメラ24の出力がそのままプロセッサ18へ入力されていること、およびプロセッサ18からポンプ26が制御されていることである。端的に言えば、プロセッサ18には実施の形態1の熱制御装置32によって得られた知見がそのまま実装されている。また、本実施の形態における中空ガラス板20およびポンプ26を有する冷却機構は、実施の形態2または3で説明したような別の冷却機構であっても良い。

[0047] 図6はプロセッサ18の内部構成を示す。プロセッサ18はメインプロセッサ40と、それぞれ同一構成の4個のサブプロセッサA〜Dを備える。メインプロセッサ40は熱検出部34、冷却制御部42、動作制御部44を備える。メインプロセッサ40はその他の汎用的な処理をなすが、ここでは図示していない。赤外線カメラ24によって撮像されたダイ16の平面温度分布は、熱検出部34に入力され、ダイ16上で高温異常の発生している高温箇所を特定する。熱検出部34の監視の結果、高温異常が発生すると、冷却制御部42と動作制御部44のいずれか、または両方により、放熱効率の向上か発熱の抑制が行われる。冷却制御部42は高温異常の際、ポンプ26の駆動力を高める。動作制御部44はプロセスアロケータ46と周波数マネージャ48を備え、高温個所の温度を下げる。

[0048] プロセスアロケータ46は、サブプロセッサA〜Dのいずれかに高温異常が発見されると、そのサブプロセッサに渡すべきプロセスを別のサブプロセッサへ再配置する。通常、並列処理できるプロセスはLRU(Least Recently Used)その他の手法で利用可能なサブプロセッサへ順次投入される。しかし、高温異常が発生すれば、プロセスアロケータ46は例えば高温箇所を含むサブプロセッサのフラグを常に「使用中」にすることにより、新たなプロセスの投入を回避することができる。高温異常が解消すれば、そのフラグをクリアする。

[0049] 周波数マネージャ48は、高温異常が発生すれば動作周波数を低減する。動作周



波数はメインプロセッサ40とサブプロセッサA〜Dに共通であれば全体の動作周波数を一様に下げればよい。一方、動作周波数がメインプロセッサ40、サブプロセッサA〜Dのブロックごとに変更できるアーキテクチャであれば、当然、高温個所を含むブロックの動作周波数を低減すれば足りる。

[0050] プロセスアロケータ46、周波数マネージャ48と冷却制御部42のいずれの機能をどの程度用いるかは実験によって定めればよく、その際、実施の形態1から3の装置を利用すればよい。このように、本実施の形態では熱検出部34によって高温異常を検出すると、ポンプ26の制御にあわせて、プロセスアロケータ46や周波数マネージャ48により、高温異常の発生したサブプロセッサA〜Dの負荷や処理速度を制御することで、高温箇所の発熱を抑制し、ダイ16の平面温度分布を平準化することができる。

[0051] 実施の形態5.

本実施の形態は、中空ガラス板20による放熱効果をさらに高める装置に関する。本実施の形態は、実施の形態1、2と組み合わせることができるが、それらに限定する必要はなく、熱制御装置として広く利用可能である。本実施の形態に赤外線カメラ24を用いない場合、中空ガラス板20は透明である必要はなく、したがってアルミニウム、銅など、熱伝導性に優れた金属その他の材料で形成すればよい。

[0052] 図7(a)は本実施の形態に係るダイ16付近の拡大図、図7(b)は、それを上から見た図である。中空ガラス板20は点描、ダイ16は斜線で示される。中空ガラス板20には、ダイ16の露出面に対向する領域に開口58が設けられ、ダイ16の周囲部分と幅wの部分60で陽極接合等により、密に接着されている。「密に接着」とは、この場合、中空な部分から冷媒が外に漏れないように固着させることを意味する。この構造により、冷媒は直接ダイ16の裏面に触れるため、放熱効果が高い。

[0053] 図8は変形例であり、ダイ16と中空ガラス板20が接合される部分60の一部を示す。同図のごとく、中空ガラス板20の開口はちょうどダイ16の外形に合うよう穿たれ、中空ガラス板20の内面とダイ16の上面が同一平面上にある。この構造であれば、冷媒の流れはより円滑であり、さらに高い放熱効果を期待することができる。

[0054] 以上、本発明を実施の形態をもとに説明した。これらの実施の形態は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組合せにいろいろな変形例が可能なこと、

またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。以下、そうした例である。

- [0055] 実施の形態では赤外線カメラ24を用いたが、これに限らず別の撮像型センサでもよい。例えば、一般的なCCD(電荷結合素子)を用いたデジタルカメラの撮像ユニットでも機能は果たせる。その場合、通常、撮像ユニット内に設けられている赤外線フィルタを外せばよい。この構成であれば、ユニット単価、サイズの両面で有利である。
- [0056] 実施の形態では、ダイ16の裏面が露出する例を挙げた。しかし、その必要はなく、ダイ16の裏面にヒートスプレッダが乗せられていてもよい。
- [0057] 実施の形態では、冷媒の冷却手段に触れなかったが、当然これを設けてもよい。冷却手段は、その部分において細流管22の表面積を大きくし、ファンその他で放熱を図るものとする。図1の解析部36や図4の冷却制御部42は、この冷却手段を制御してもよい。
- [0058] プロセッサ18の動作周波数を低減するとき、発熱状態に応じて段階的に制御してもよい。たとえば、高温異常と判定するためのしきい値を複数設け、徐々に動作周波数を落としていってもよい。ポンプ26の駆動力の制御も同様である。

#### 産業上の利用可能性

- [0059] 本発明は、半導体集積回路の分野に適用することができる。

### 請求の範囲

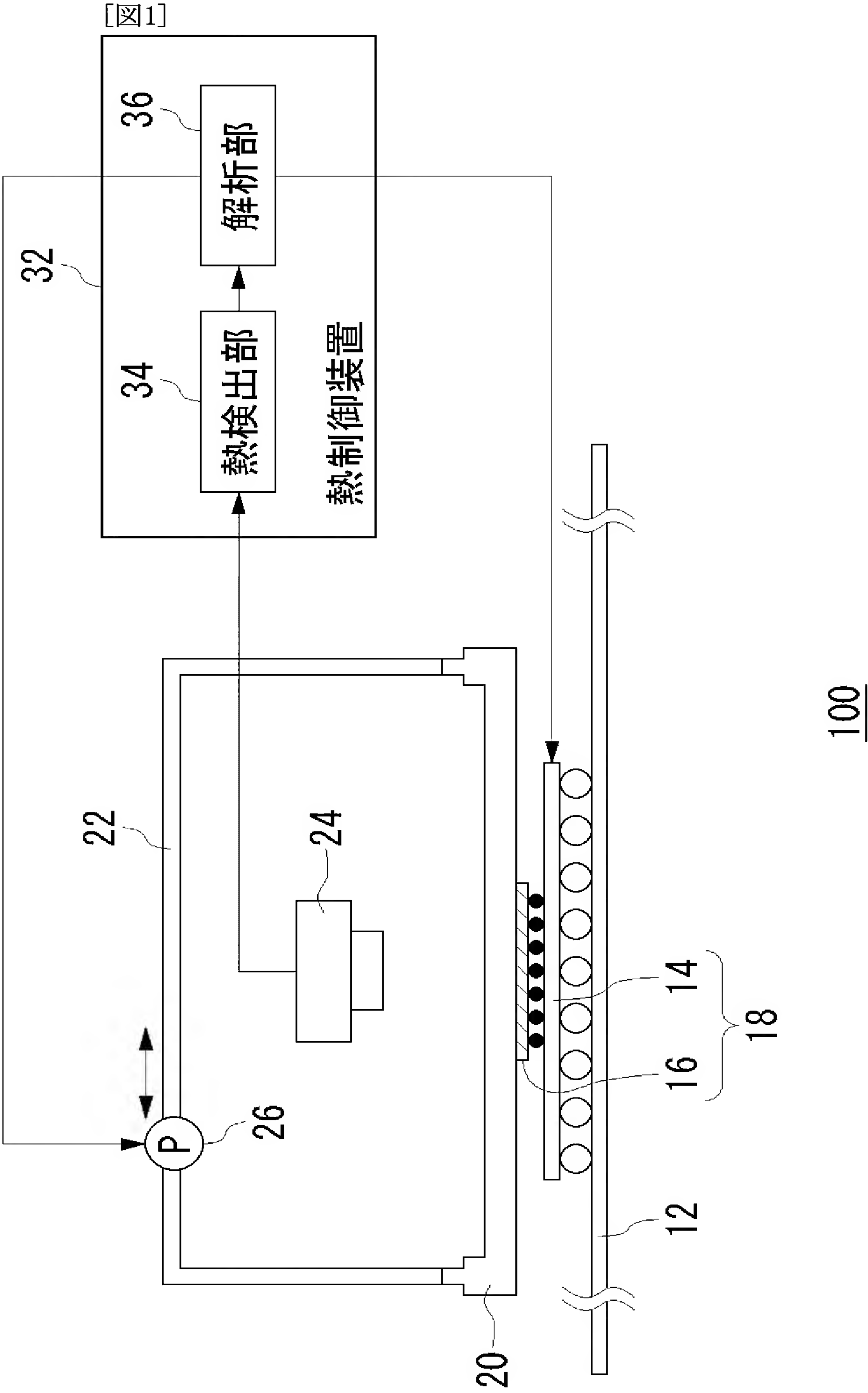
- [1] 撮像型のセンサで半導体集積回路を撮像して得られた検査画像から当該半導体集積回路の発熱状態を取得する熱検出部と、  
取得された発熱状態に応じて前記半導体集積回路を冷却する手段を制御する冷却制御部と、  
を備えることを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [2] 請求項1に記載の装置において、前記熱検出部は、前記検査画像から前記半導体集積回路の温度分布を取得し、前記半導体集積回路のいずれかの個所において温度が所定のしきい値を超えたとき、前記冷却制御部は、前記冷却する手段の冷却能力を高めることを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [3] 撮像型のセンサで半導体集積回路を撮像して得られた検査画像から当該半導体集積回路の発熱状態を取得する熱検出部と、  
取得された発熱状態に応じて前記半導体集積回路の動作状態を制御する動作制御部と、  
を備えることを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [4] 請求項3に記載の装置において、前記熱検出部は、前記検査画像から前記半導体集積回路の温度分布を取得し、前記半導体集積回路のいずれかの個所において温度が所定のしきい値を超えたとき、前記動作制御部は、温度がしきい値を超えた個所における単位時間当たりの処理の負荷を軽減することを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [5] 二次元的に密な解像度で半導体集積回路の発熱状態を取得するステップと、  
取得された発熱状態に応じて半導体集積回路の発熱状態を変化させるための制御を行うステップと、  
を備えることを特徴とする回路の発熱制御方法。
- [6] 半導体集積回路に密着して固定される透明な冷却機構と、  
前記冷却機構を介して前記半導体集積回路を撮像する撮像型のセンサと、  
センサによって撮像された検査画像から当該半導体集積回路の発熱状態を取得する熱検出部と、

- 取得された発熱状態を解析する解析部と、  
を備えることを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [7] 前記冷却機構は、シリコン製のヒートスプレッダであって、  
さらに前記ヒートスプレッダを冷却する手段を備えることを特徴とする請求項6に記載の回路の発熱制御装置。
- [8] シリコン基板上に形成される半導体集積回路の発熱部分から離反方向にシリコン基板を延伸してなるヒートスプレッダと、  
前記ヒートスプレッダを冷却する冷却装置と、  
前記半導体集積回路を撮像する撮像型のセンサと、  
センサによって撮像された検査画像から当該半導体集積回路の発熱状態を取得する熱検出部と、  
取得された発熱状態を解析する解析部と、  
を備えることを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [9] 前記冷却機構は中空な部分を有し、  
さらに前記中空な部分に冷媒を流通せしめる駆動機構を備えることを特徴とする請求項6に記載の回路の発熱制御装置。
- [10] 請求項9に記載の装置において、前記中空な部分は、前記半導体集積回路の主要部分を覆うよう穿設され、前記センサによる前記半導体集積回路の撮像が前記中空な部分を介してなされることを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [11] 請求項9に記載の装置において、前記センサによる前記半導体集積回路の撮像が前記中空な部分を介さないよう、当該中空な部分が前記半導体集積回路から所定のクリアランスをもって穿設されていることを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [12] 請求項9から11のいずれかに記載の装置において、前記駆動機構は適宜冷媒の流通方向を変化させることを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [13] 請求項12に記載の装置において、前記解析部は冷媒の流通方向が変化する前後で検出された発熱状態を統合して解析することを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [14] 請求項9から11のいずれかに記載の装置において、前記解析部は前記冷媒の流通方向による温度傾斜を加味して発熱状態を解析することを特徴とする回路の発熱

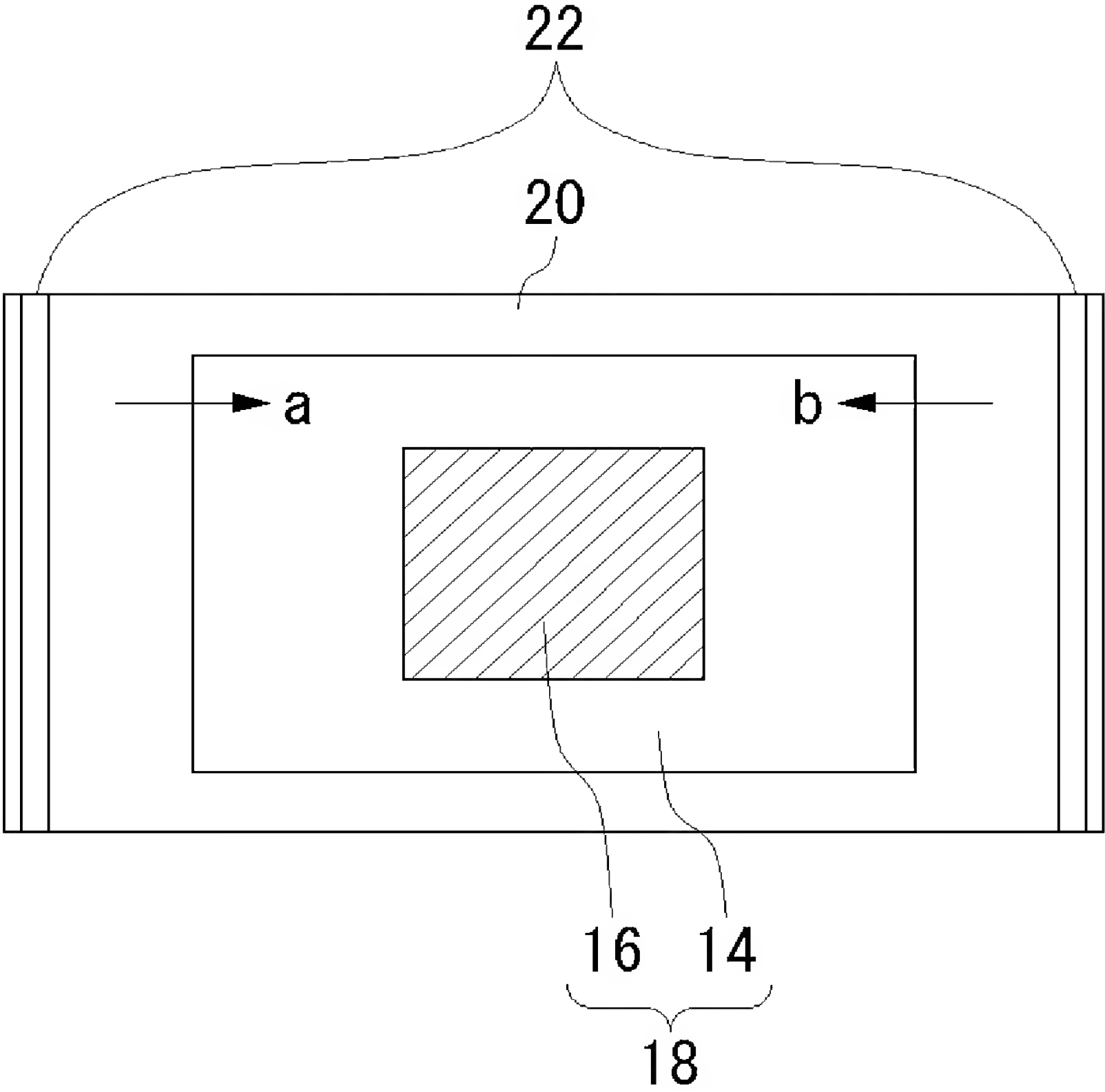
制御装置。

- [15] 中空な部分を有し、半導体集積回路を冷却する冷却機構と、  
前記中空な部分に冷媒を流通せしめる駆動機構と、  
を備え、前記冷却機構の所定個所には前記中空な部分に通じる開口が穿設され、  
少なくともこの開口の縁部は前記半導体集積回路の対応個所に密に固着され、前記  
冷媒がこの開口を通して前記半導体集積回路の少なくとも一部に直接接触れる構造と  
したことを特徴とする回路の発熱制御装置。
- [16] 半導体集積回路と、  
半導体集積回路を撮像する撮像型のセンサと、  
センサで半導体集積回路を撮像して得られた検査画像から当該半導体集積回路  
の発熱状態を取得する熱検出部と、  
取得された発熱状態に応じて前記半導体集積回路を冷却する手段を制御する冷  
却制御部と、  
を備えることを特徴とする回路の発熱制御システム。
- [17] 半導体集積回路と、  
半導体集積回路を撮像する撮像型のセンサと、  
センサで半導体集積回路を撮像して得られた検査画像から当該半導体集積回路  
の発熱状態を取得する熱検出部と、  
取得された発熱状態に応じて前記半導体集積回路の動作状態を制御する動作制  
御部と、  
を備えることを特徴とする回路の発熱制御システム。
- [18] 半導体集積回路と、  
中空な部分を有し、半導体集積回路を冷却する冷却機構と、  
前記中空な部分に冷媒を流通せしめる駆動機構と、  
を備え、前記冷却機構の所定個所には前記中空な部分に通じる開口が穿設され、  
少なくともこの開口の縁部は前記半導体集積回路の対応個所に密に固着され、前記  
冷媒がこの開口を通して前記半導体集積回路の少なくとも一部に直接接触れる構造と  
したことを特徴とする回路の発熱制御システム。

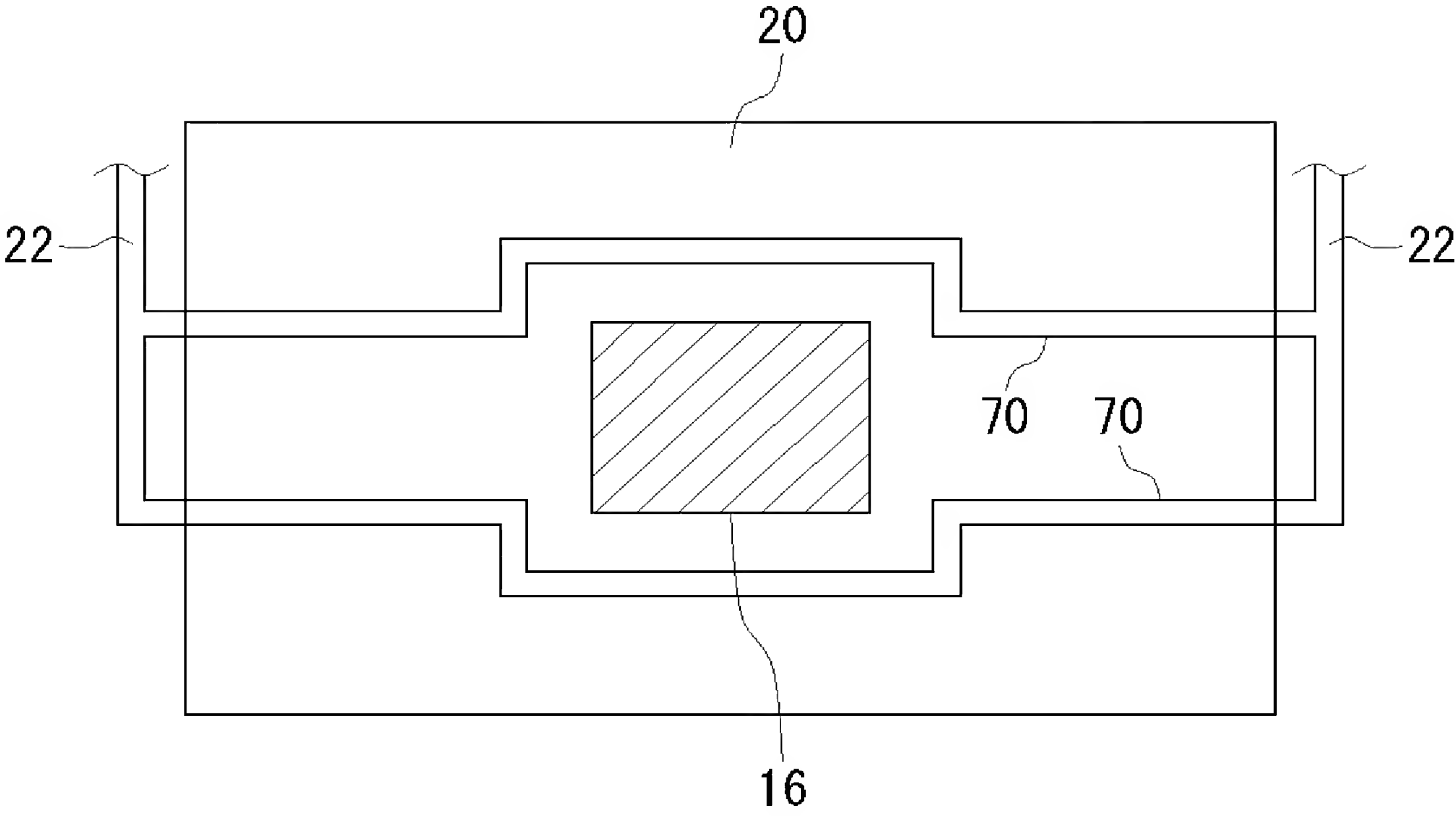




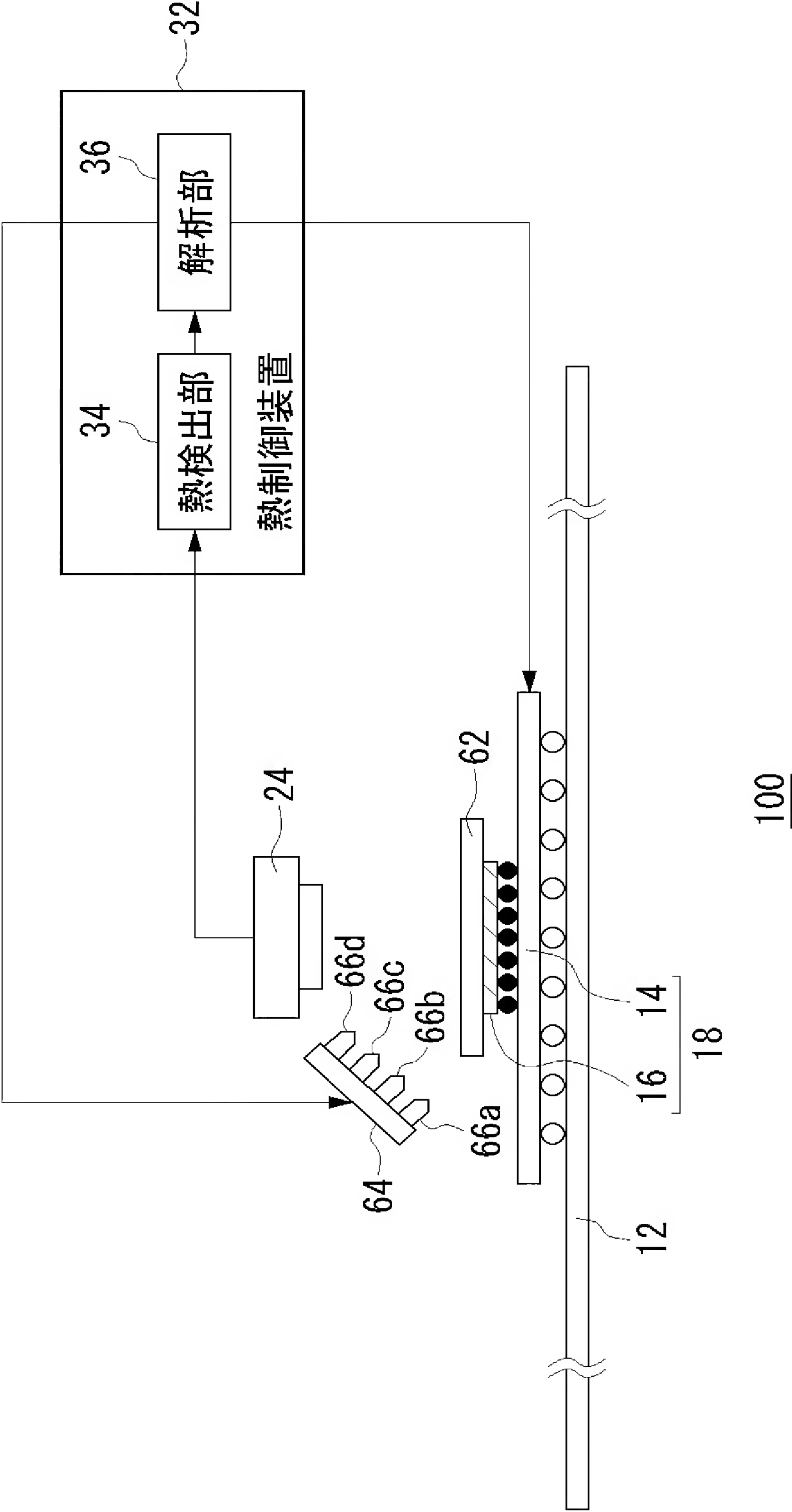
[図2]



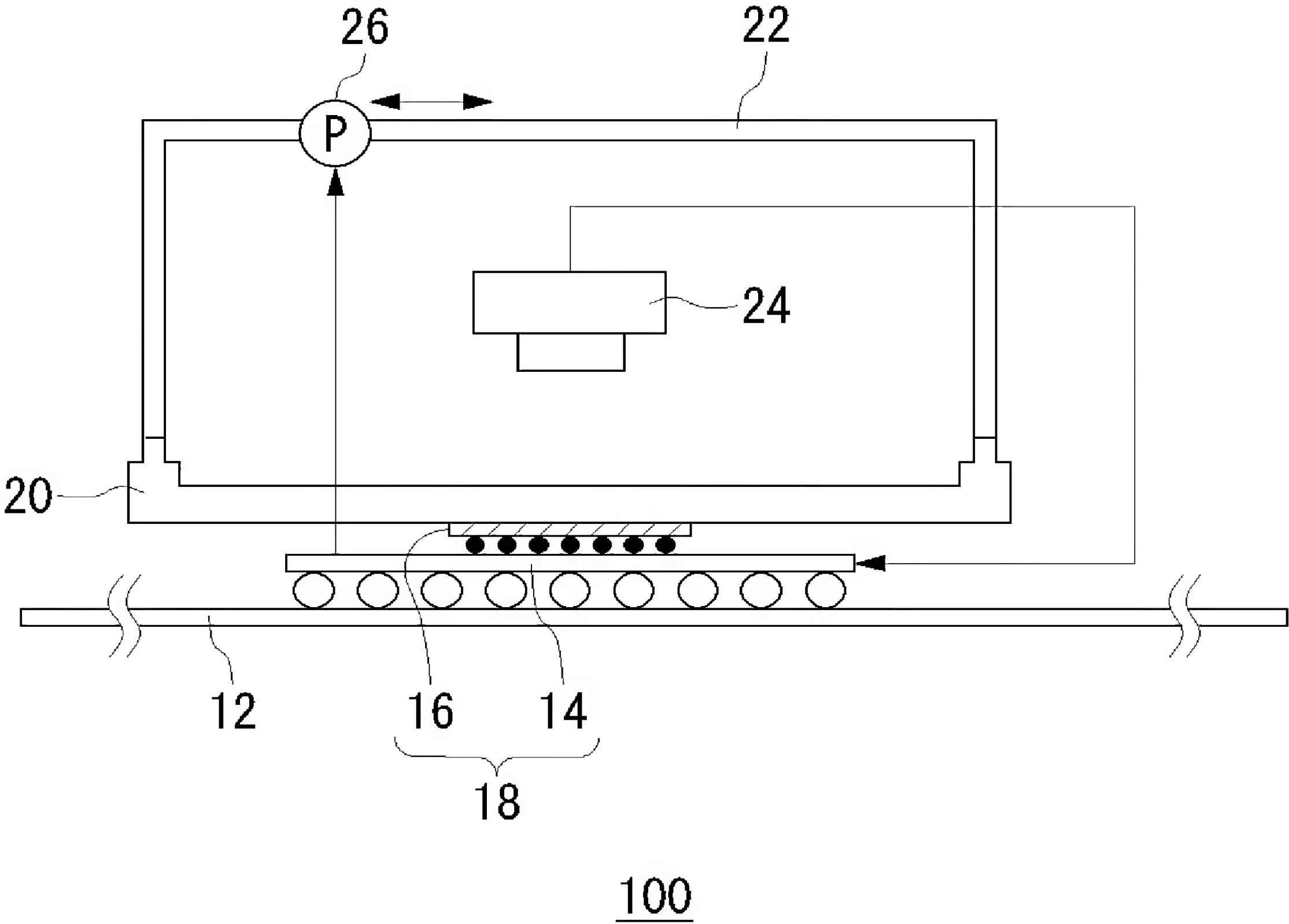
[図3]



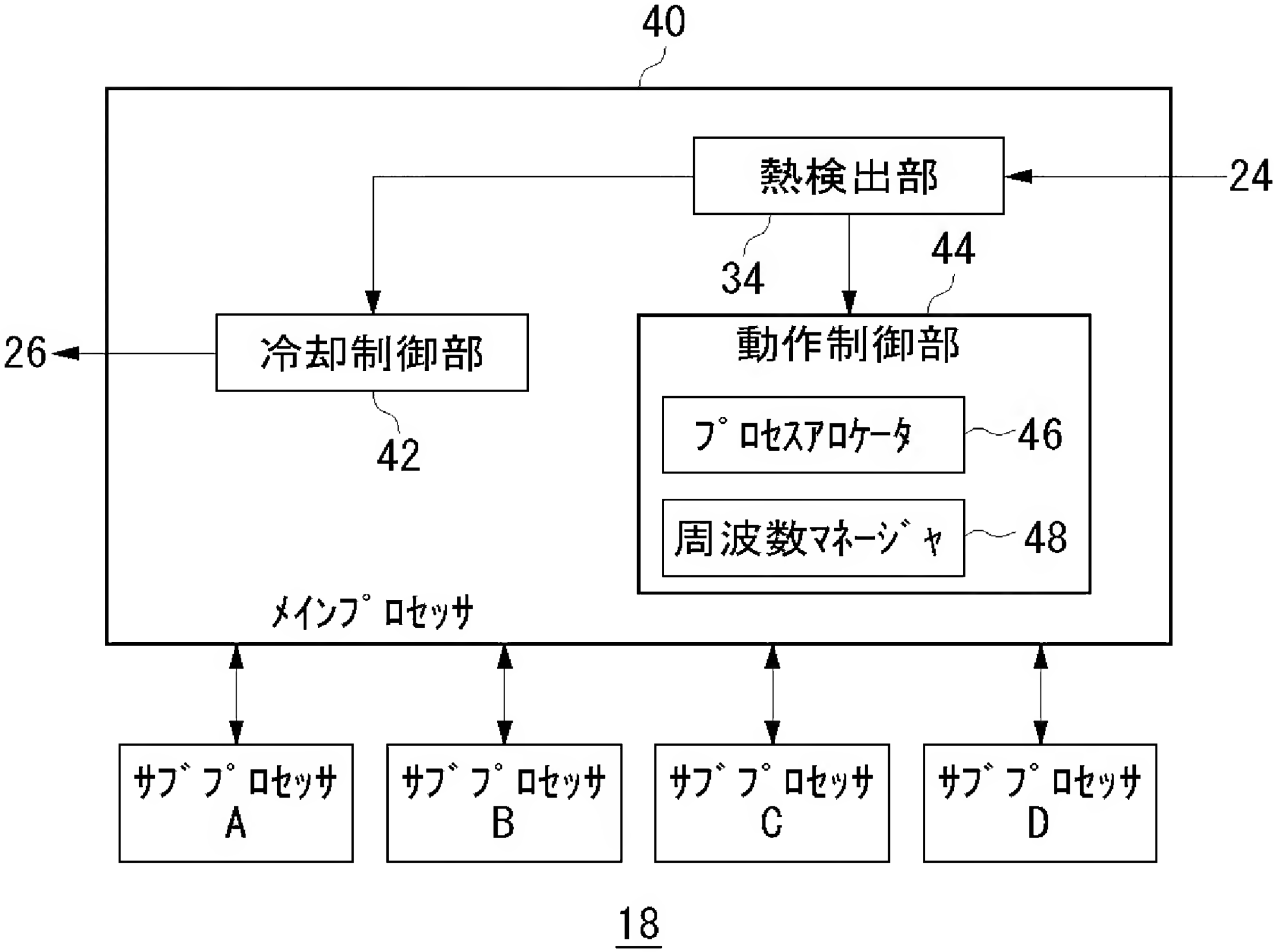
[図4]



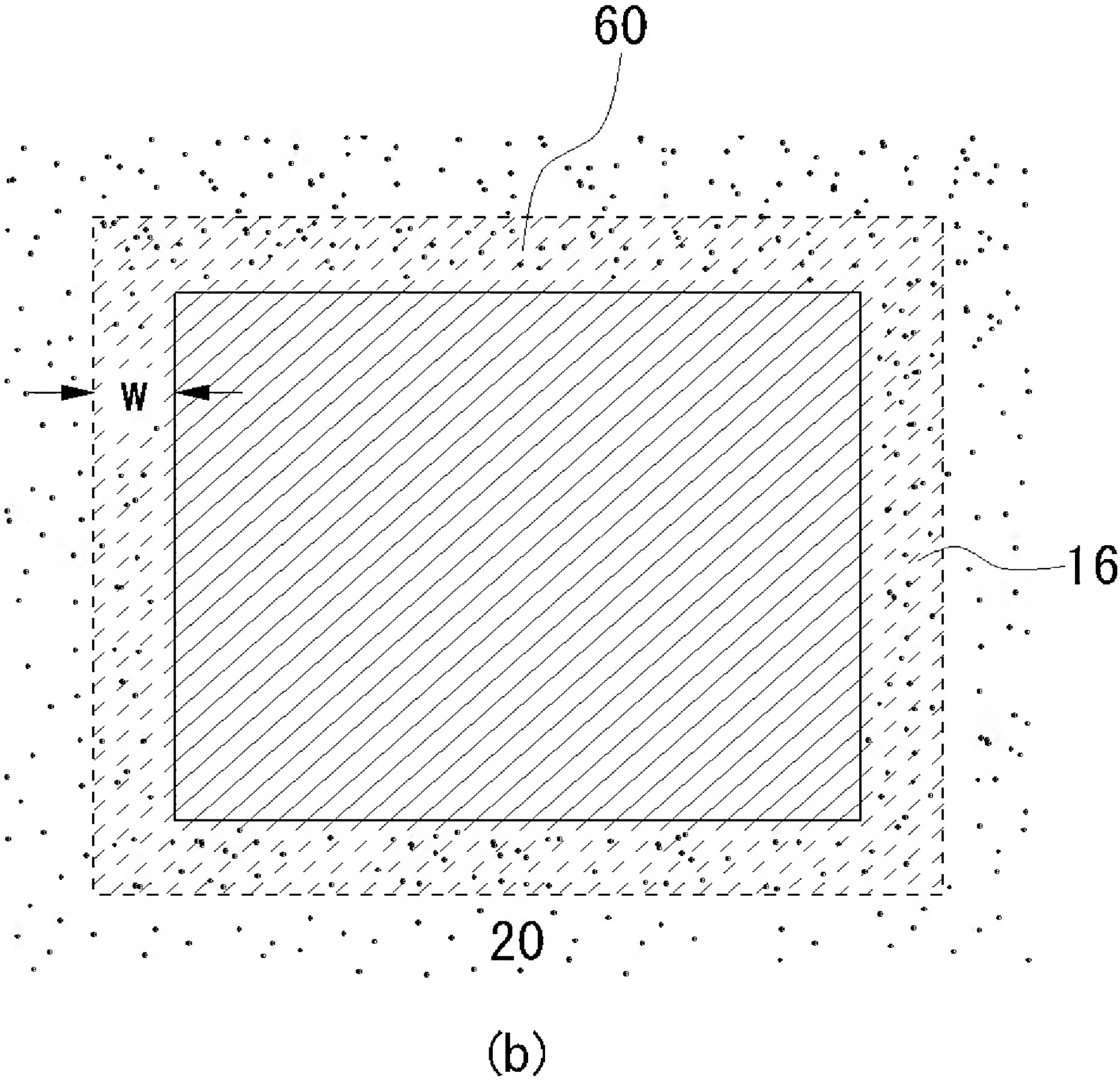
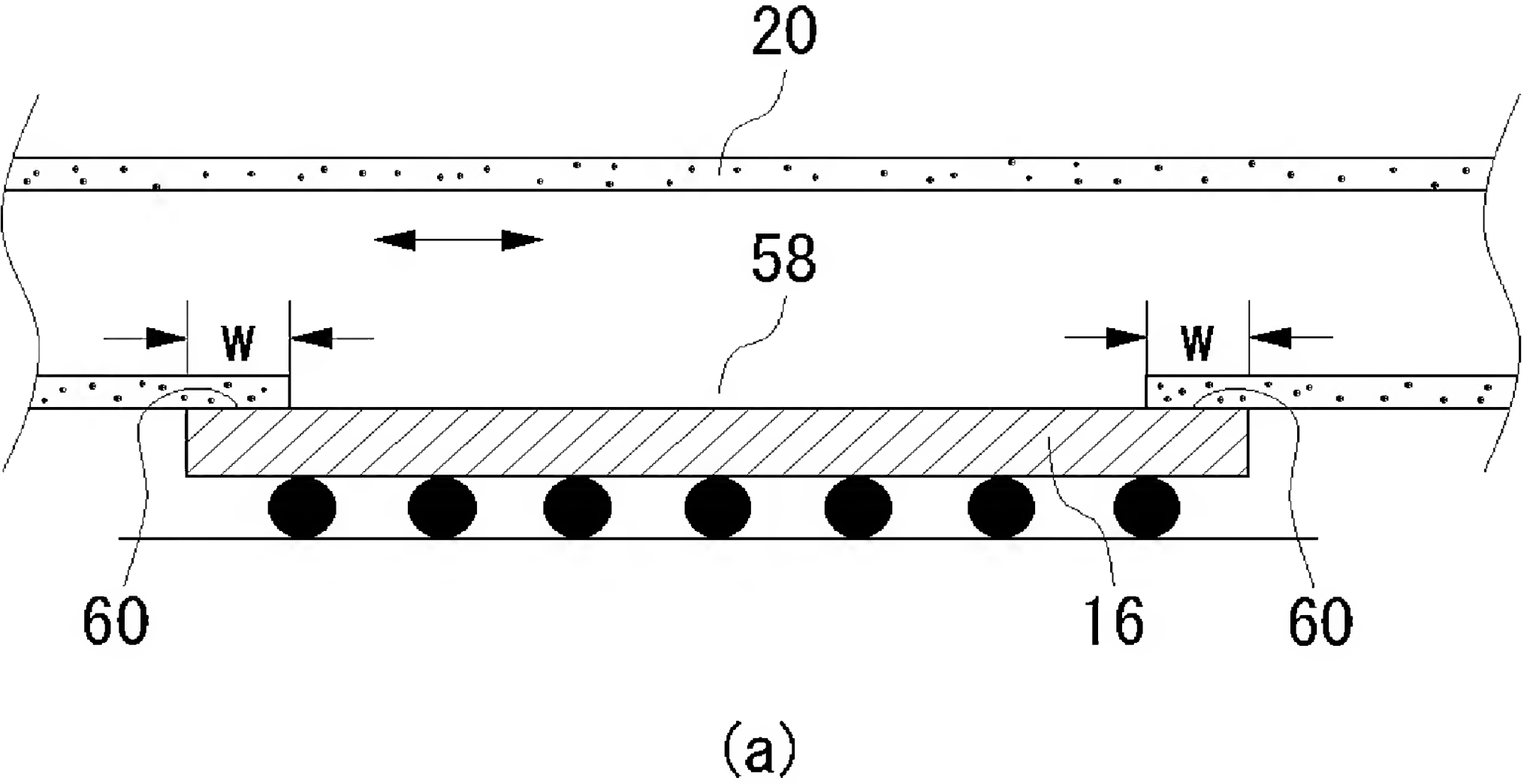
[図5]



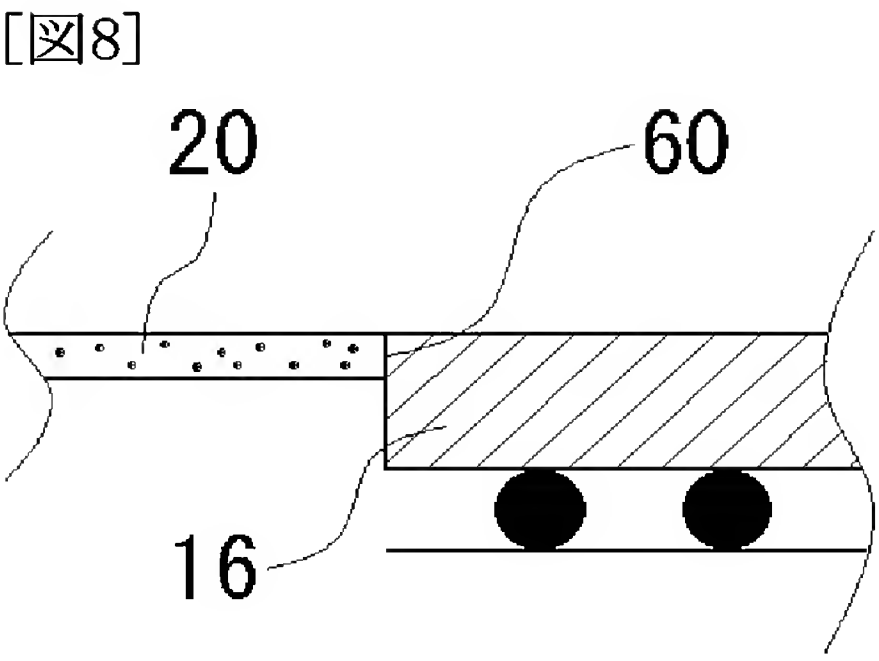
[図6]



[図7]







## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004840

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L23/34, G01R31/26, G06F1/04, H01L23/473, 23/58

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L23/34, G01R31/26, G06F1/04, H01L23/473, 23/58, H05K7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| Y         | JP 10-093010 A (Konami Co., Ltd.),<br>10 April, 1998 (10.04.98),<br>Claims; Fig. 1<br>& EP 0821459 A2 & US 5870267 A                 | 1-5, 8, 16, 17        |
| Y         | JP 10-308485 A (Hewlett-Packard Co.),<br>17 November, 1998 (17.11.98),<br>Column 8, lines 19 to 29<br>& EP 0875933 A2 & US 6037659 A | 1-5, 8, 16, 17        |
| Y         | JP 9-162337 A (Kyocera Corp.),<br>20 June, 1997 (20.06.97),<br>Claims<br>(Family: none)  | 8                     |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 June, 2005 (03.06.05)

Date of mailing of the international search report

28 June, 2005 (28.06.05)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004840

| C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |   |                       |
|---|---|-----------------------|
| Category*   | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
| Y   | JP 2003-198026 A (Mitsubishi Electric Corp.),<br>11 July, 2003 (11.07.03),<br>Claims<br>(Family: none)  | 8                     |
| Y   | JP 2003-309237 A (Canon Inc.),<br>31 October, 2003 (31.10.03),<br>Column 6, lines 26 to 34<br>(Family: none)  | 8                     |
| Y   | JP 5-067712 A (NEC Corp.),<br>19 March, 1993 (19.03.93),<br>Claims; Fig. 3<br>& EP 0516478 A1 & US 5285351 A  | 15, 18                |
| Y   | JP 6-342990 A (International Business Machines Corp.),<br>13 December, 1994 (13.12.94),<br>Column 6, lines 30 to 41; Fig. 1<br>& EP 0498753 A1 & US 5309319 A | 15, 18                |

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L23/34, G01R31/26, G06F1/04, H01L23/473, 23/58

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L23/34, G01R31/26, G06F1/04, H01L23/473, 23/58, H05K7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2005年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2005年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2005年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示   | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|-----------------|---|------------------|
| Y               | JP 10-093010 A (コナミ株式会社) 1998.04.10,<br>特許請求の範囲, 図1<br>& EP 0821459 A2<br>& US 5870267 A          | 1-5, 8, 16, 17   |
| Y               | JP 10-308485 A (ヒューレット・パカード・カンパニー)<br>1998.11.17, 第8欄第19-29行<br>& EP 0875933 A2<br>& US 6037659 A | 1-5, 8, 16, 17   |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

03.06.2005

国際調査報告の発送日

28.6.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田中 永一

電話番号 03-3581-1101 内線 3469

4R

9539

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |  |                  |
|-----------------------|--|------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示  | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
| Y                     | JP 9-162337 A (京セラ株式会社) 1997.06.20,<br>特許請求の範囲<br><br>(ファミリーなし)  | 8                |
| Y                     | JP 2003-198026 A (三菱電機株式会社)<br>2003.07.11, 特許請求の範囲<br><br>(ファミリーなし)  | 8                |
| Y                     | JP 2003-309237 A (キャノン株式会社)<br>2003.10.31, 第6欄第26-34行<br><br>(ファミリーなし)   | 8                |
| Y                     | JP 5-067712 A (日本電気株式会社) 1993.03.19,<br>特許請求の範囲, 図3<br>& EP 0516478 A1<br>& US 5285351 A                             | 15, 18           |
| Y                     | JP 6-342990 A (インターナショナル・ビジネス・マシー<br>ズ・コーポレーション) 1994.12.13, 第6欄第30-41<br>行, 図1<br>& EP 0498753 A1<br>& US 5309319 A | 15, 18           |